

## Colorimetría y blancura en madera de *Salix*

VILLEGAS, M.S.

JTP Dendrología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, U.N.L.P., CC 31, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina, [silvillegas@agro.unlp.edu.ar](mailto:silvillegas@agro.unlp.edu.ar)

El objetivo de este trabajo fue conocer los patrones de variación del color y blancura en el leño de sauce según el sitio, el clon y la posición dentro del árbol. La medición cuantitativa y objetiva del color de la madera no es una práctica habitual cuando se evalúa su calidad. Recién en los últimos años se ha progresado en este campo, al analizar los cambios de coloración debidos al secado artificial, valorar la apariencia visual de especies para uso sólido o determinar las propiedades ópticas más deseables para pulpa y papel. En la industria celulósico-papelera, el color de la madera cobra especial importancia cuando la pulpa es obtenida a través de procesos de alto rendimiento. Debido a que sólo una pequeña parte de los componentes responsables del color son eliminados, el color de la pulpa obtenida depende en gran medida de la materia prima de la que se partió. Este material no es uniforme, las propiedades ópticas de la madera pueden modificarse según el sitio, el clon, el árbol y la posición dentro del individuo, por lo que resulta imprescindible conocer estos patrones de variación. En esta investigación se utilizaron los clones *Salix babylonica* var. *sacramenta* 'americano' y *Salix babylonica* x *Salix alba* '131-25', plantados en tres sitios productivos del Delta del río Paraná. Se seleccionaron 8 árboles por clon en cada sitio y se extrajeron rodajas a tres alturas sobre el fuste. Las mediciones de color y blancura se realizaron con un reflectómetro Elrepho (geometría d/0°, iluminante C) sobre la cara radial de una tabla por rodaja, efectuando tres determinaciones a cada lado de la médula. Para caracterizar de forma completa la apariencia visual de la madera, se utilizaron tanto valores no cromáticos (blancura o *brightness*), como valores cromáticos (coordenadas  $L^*a^*b^*$ ). En el espacio de color CIEL $^*a^*b^*$ , el eje  $L^*$  (luminosidad) representa la escala acromática de grises desde negro a blanco y se extiende desde 0 (negro) a 100 (blanco),  $+a^*$  representa rojo,  $-a^*$ , verde,  $+b^*$  es amarillo y  $-b^*$  es azul. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza. El sauce híbrido 131-25 presentó los mayores valores de blancura y  $L^*$  y los menores valores de  $a^*$  en los tres sitios analizados. La interacción clon x sitio resultó de significancia estadística para las variables  $b^*$ , blancura y  $L^*$ . Los patrones de variación axial y radial indicaron que la madera resultó más blanca y luminosa y menos amarillo-rojiza en sentido base-ápice y médula-corteza.

**Palabras clave:** blancura, color, madera, sauce, variación.

### Introducción

El color de la madera es importante para ambos destinos, pulpado y productos sólidos. Sin embargo, no es considerado habitualmente como un indicador de calidad en la industria de la madera. Ésta se encuentra retrasada en el campo de la medición cuantitativa y objetiva del color, si se la compara con las industrias de alimentos, indumentaria, automóviles, plásticos, cosméticos y pinturas. En los últimos años se ha progresado en este aspecto, al analizar los cambios de coloración debidos al secado artificial (Charrier *et al.*, 1992; Loustarinen y Loustarinen, 2001; Ananías *et al.*, 2003; Keey, 2005), tratamientos térmicos (Burgois *et al.*, 1991) o vaporización (Burtin *et al.*, 2000), buscar la utilización más apropiada para especies nuevas (Nishino *et al.*, 1998), valorar la apariencia visual de especies para uso sólido (Nishino *et al.*, 2000; Unsal *et al.*, 2003; Mori *et al.*, 2004; Autran y Gonçalves, 2006; Sotelo Montes *et al.*, 2008) o determinar las propiedades ópticas más deseables para pulpa y papel (Lee *et al.*, 1988; Dellus *et al.*, 1997; Raymond y Bradley, 2002).

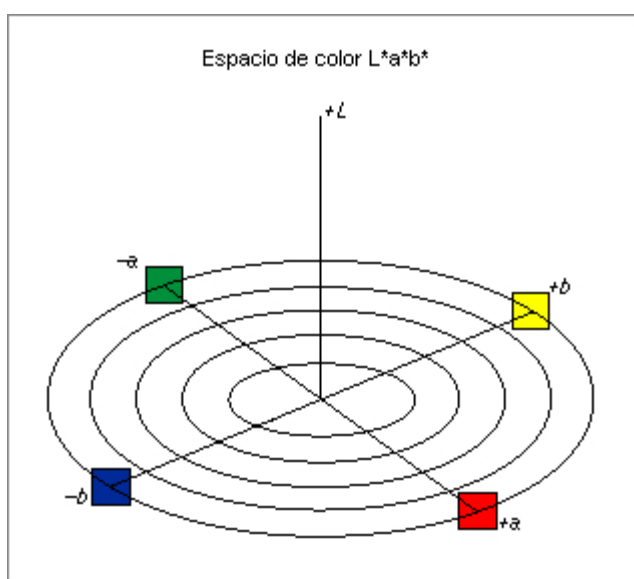
La colorimetría cuantitativa contribuye a describir el color de un material leñoso con todas sus peculiaridades, sin recurrir para ello a términos subjetivos e imprecisos, permite además definir y evaluar el valor estético que la madera presenta para el usuario a lo largo de toda la cadena productiva, estudiar cambios por fotooxidación, mejorar la variabilidad del color en la madera y clasificar especies o piezas para, por ejemplo, seleccionar aquella cuya tonalidad se ajuste más adecuadamente a un ensamble en muebles o pisos (Janin *et al.*, 2001; Keey, 2005).

El color natural de la madera depende de la edad del árbol, las características anatómicas del leño, la composición química de la pared celular y del plano de corte (transversal, radial o tangencial) expuesto. Puede cambiar debido a tratamientos térmicos, secado, exposición a la luz o humedad y ataque de microorganismos (Autran y Gonçalves, 2006; Sotelo Montes *et.al*, 2008). El color está influenciado por factores genéticos y ambientales. Si bien hay pocos estudios sobre variación genética realizados, se la considera una característica con baja heredabilidad, controlada principalmente por factores ambientales. Es así que las propiedades físicas y químicas del suelo pueden producir diferencias en el color de la madera entre sitios de crecimiento (Sotelo Montes *et.al*, 2008).

Es un parámetro relacionado íntimamente con la composición química de la madera, en especial con la calidad y tenor de lignina y extractivos. A menor cantidad de los mismos, más “blanca” es una madera. En la industria de la celulosa y el papel, el color del leño cobra especial importancia cuando la pulpa es obtenida a través de procesos de alto rendimiento. Debido a que sólo una pequeña parte de los componentes responsables del color son eliminados, el color de la pulpa obtenida depende en gran medida de la materia prima de la que se partió. Es decir, cuanto más oscura es la madera, menor *brightness* (blancura) se alcanza en la pulpa (Lindholm, 1999).

Según Popson *et al.* (1996) la forma más completa y significativa para caracterizar la apariencia visual de un material es usar datos de color tridimensionales, aunque señala que el *brightness* es una medida más simple y satisfactoria para especificar el punto final de un objetivo, por lo que tanto los valores cromáticos como los no cromáticos son necesarios para caracterizar completamente los cambios de color.

**Valores cromáticos.** El sistema colorimétrico CIE es el cuerpo de normas para medición y control de color más completo y antiguo aún en vigencia. Sobre el mismo se sustentan todos los sistemas actualmente en aplicación en el mundo, incluido ISO (Matta, 2000). En CIE, un color queda perfectamente determinado cuando se fijan: la fuente de luz y sus características; el observador estándar y su geometría; las coordenadas del color en el espacio colorimétrico CIE. Existen varios espacios de color CIE, el de uso más extendido es el CIEL\*a\*b\*, creado en 1976 (Figura 1). En él, las impresiones sensoriales son transformadas en números:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , que derivan de los valores tristímulos X, Y y Z, los cuales representan la contribución de las células cono de la retina a la región del rojo, amarillo-verde y azul. El eje  $L^*$  es conocido como Luminosidad y se extiende desde 0 (negro) a 100 (blanco);  $a^*$  representa rojo cuando positivo y verde cuando negativo y  $b^*$  amarillo si es positivo y azul si es negativo. Las muestras para las que  $a^*=b^*=0$  son acromáticas, y de este modo el eje  $L^*$  representa la escala acromática de grises desde negro a blanco.



**Figura 1.** Espacio de color del sistema CIEL\*a\*b\*.

La blancura o *brightness* es la propiedad óptica más comúnmente usada, a pesar de sus limitaciones. Incluye solamente la porción azul del espectro visible (se mide a 457 nm) y no siempre se relaciona bien con evaluaciones visuales. Se usa para seguir el progreso de blanqueo de pulpa, por tres razones:

- Es una cantidad caracterizada por una sola variable, haciéndola más fácil de entender que el color, que se caracteriza por tres variables.
- Es una medida de la cantidad relativa de luz reflejada en la parte azul del espectro, donde el blanqueo tiene sus principales efectos.
- Los valores de *brightness* se relacionan con cierta aproximación a las evaluaciones visuales de blancura (Popson *et al.*, 1996).

El objetivo de este trabajo es conocer los patrones de variación del color y blancura en el leño de sauce `americano´ y sauce híbrido `131-25´, según el sitio, el clon y la posición dentro del árbol. Conocer la variación axial y radial dentro de un mismo individuo, permitiría ubicar el punto de extracción de muestra más adecuado; saber si existen diferencias entre árboles de un mismo clon o entre clones distintos, introduciría la posibilidad de seleccionar individuos o clones por su color en un plan de mejora genética orientado a la industria celulósico-papelera; conocer si los sitios de producción influyen en los parámetros de color, implicaría poder manejar la combinación clon-sitio más adecuada a los fines papeleros.

Existen algunos antecedentes sobre el tema en otras especies. Nelson *et al.* (1969), citado por Hiller *et al.* (1972) analizaron la influencia del sitio en el color de la madera de *Juglans nigra*. Lee *et al.* (1988) analizaron las propiedades ópticas de 8 especies utilizadas con fines papeleros, evaluando los efectos del contenido de humedad de la madera, el plano de corte, la edad y el espesor de la muestra. Nishino *et al.* (1998) midieron el color en 97 especies para determinar su posible aptitud de uso, estableciendo relaciones entre los parámetros del sistema CIEL\*a\*b\*. Raymond y Bradley (2002) realizaron una completa evaluación del color en *Eucalyptus nitens* destinado a pulpa celulósica, analizando la variación axial dentro del árbol, la altura óptima de muestreo y la posibilidad de realizar mediciones en muestras de barreno reducidas a aserrín; compararon resultados obtenidos con diferentes colorímetros y en madera verde o seca al aire. Autran y González (2006) estudiaron la colorimetría de dos especies brasileras, analizando diferencias entre individuos y según el plano de corte expuesto. Sotelo Montes *et al.* (2008) estudiaron la variación genética del color en madera y su correlación con el crecimiento y la densidad en *Calycophyllum* creciendo en tres zonas de plantación.

En *Salix*, se encuentran muchos antecedentes sobre medición de blancura en pulpa y/o papel, no así en madera. Bunse y Sparnochia (1989) determinaron *brightness* en pastillas que formaron con aserrín prensado, informando un promedio de todas las progenies de híbridos de sauce estudiadas (47,3%) y su correlación con otros parámetros. Villegas (2005) en una etapa previa del presente estudio, comparó mediante distintos métodos las observaciones de color y blancura realizadas en madera de sauce entera y molida, en diferentes posiciones radiales, orientaciones, niveles sobre el fuste y árboles, sin hallar diferencias entre las mediciones en tablas y aserrín. Villegas y Marlats (2005) ubicaron dentro de la porción útil del tronco, el punto de muestreo óptimo para la evaluación de densidad básica y blancura, en los mismos dos clones de *Salix* en estudio. Trabajos posteriores en clones diferentes caracterizaron la madera de sauce y establecieron relaciones entre sus propiedades y los parámetros de blancura y color (Villegas *et al.*, 2006; Villegas y Area, 2006).

## **Materiales y Métodos**

Se trabajó con árboles de *Salix babylonica* var. *sacramento* `sauce americano´ y *Salix babylonica* x *Salix alba* `131-25´, de 8-13 años de edad, pertenecientes a plantaciones ubicadas en tres sitios de producción:

1. Establecimiento "Las Animas", ubicado en el Delta Medio, con inundación recurrente y largos períodos de anegamiento. Villa Paranacito, Entre Ríos, Argentina (33° 45' LS; 59° 05' LO).
2. Establecimiento "Las Carabelas" (dentro de dique), en el Bajo Delta, terreno protegido de las inundaciones por un dique de 5,50m de cota y con sistemas de bombeo para el desalojo rápido del agua que ocasionalmente pueda afectarlo. Los suelos han sido cultivados los últimos 70 años. 1° Sección de Islas, Buenos Aires, Argentina (34° 30' LS; 59° 00' LO).

3. Establecimiento “Las Carabelas” (fuera de dique), idéntica localización geográfica al sitio 2, pero el terreno cuenta con un dique de menor cota (3,50m), siendo afectado por inundaciones recurrentes, en las que el tiempo de evacuación del agua está condicionado por las sudestadas del Río de La Plata. Los suelos son prácticamente vírgenes, siendo ésta la primera rotación de cultivos de *Salix*.

En cada sitio de crecimiento se seleccionaron 8 árboles por clon, se marcó la altura del pecho y se procedió al apeo de los mismos. Se obtuvieron rodajas de 3 cm de espesor a tres niveles de altura sobre el fuste (denominados 1, 2 y 3): 1,3 m, 4,3 m y 6,5 m en sitio 1; 1,3m, 25% y 65% de la altura comercial (diámetro mínimo 7,5 cm) en los sitios 2 y 3. Una vez retiradas las rodajas, fueron identificadas y colocadas en bolsas de polietileno negro para su envío al laboratorio.

Las rodajas se descortezaron y de cada una de ellas se extrajo una tabla de 1.5 cm de espesor, conteniendo la médula. Sobre la cara radial de cada tabla se efectuaron 3 determinaciones a cada lado de la médula, denominadas 1 (próxima a médula), 2 (mitad) y 3 (próxima a corteza), abarcando cada una de ellas un tercio de la longitud del radio.

Las mediciones de color y *brightness* se realizaron con un reflectómetro Elrepho, de geometría  $d/0^\circ$ , iluminante C. Se utilizaron los filtros 9 (FMX/C), 10 (FMY/C) 11 (FMZ/C) y 8 (R457), obteniéndose las reflectancias (en porcentajes)  $R_x$ ,  $R_y$  y  $R_z$  con los tres primeros y el *brightness* con el último filtro. Con los datos de reflectancias y siguiendo la norma T 527 om-94 para color de papel y cartón (geometría  $d/0^\circ$ ) se calcularon los valores tristímulos X, Y y Z (según las siguientes ecuaciones:  $X = 0,78341 R_x + 0,19732 R_z$ ;  $Y = R_y$ ;  $Z = 1,18232 R_z$ ), necesarios para el cálculo de las coordenadas del espacio CIEL\*a\*b\*:

$$L^* = 116 (Y/Y_o)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_o)^{1/3} - (Y/Y_o)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_o)^{1/3} - (Z/Z_o)^{1/3}],$$

donde  $X_o$ ,  $Y_o$  y  $Z_o$  son los valores tristímulos para el iluminante C (blanco de referencia), usado en el cálculo de X, Y y Z de la muestra. ( $X_o$ : 98,073;  $Y_o$ : 100;  $Z_o$ : 118,232) y los cocientes  $X/X_o$ ,  $Y/Y_o$  y  $Z/Z_o$  son todos  $> 0,01$ .

Se efectuaron análisis de varianza en los que los árboles fueron considerados repeticiones, para poder analizar los efectos “clon”, “sitio” y su interacción. El valor de cada uno de los parámetros (blancura,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) para cada árbol resultó de promediar todas las determinaciones realizadas en cada individuo. Se efectuaron además análisis de varianza para cada clon y sitio en forma separada, considerando como fuentes de variación los efectos “árbol”, “altura de muestreo” y “posición dentro del radio”, además de sus interacciones.

## Resultados y Discusión

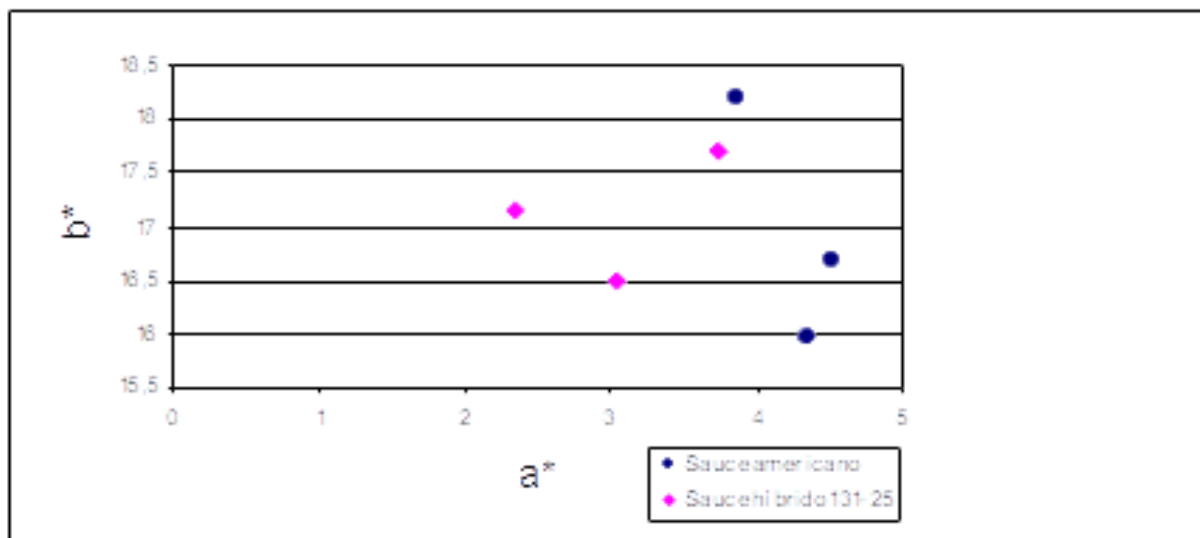
### Variación clonal y debida al sitio

Se presentan en **Tabla 1** los valores medios de cada variable por clon y sitio y en la **Figura 2**, los promedios de las coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$ .

**Tabla 1.** Promedios de blancura,  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  para sauces americano e híbrido ‘131-25’.

Variables	Sauce americano			Sauce híbrido ‘131-25’		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 1	Sitio 2	Sitio3
Blancura (%)	38,2	39,9	38,6	39,3	45,3	46,7
$L^*$	76,6	79,3	77,6	78,4	82,1	83,0
$a^*$	4,3	3,9	4,5	3,7	2,3	3,0
$b^*$	16,0	18,2	16,7	17,7	17,1	16,5

El color de la madera de sauce presentó valores esperables. La mayoría de las especies de baja densidad ( $400\text{--}550\text{ kg/m}^3$ ) tienden a tener madera clara ( $L^* > 54$ ) con tono amarillento ( $b^* > a^*$ ), mientras las de alta densidad ( $> 750\text{ kg/m}^3$ ) son más oscuras ( $L^* < 54$ ) y rojizas ( $a^* > b^*$ ) (Sotelo Montes *et al.*, 2008). Los valores medios de blancura y  $L^*$  variaron dentro de un rango más amplio que los datos de las coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$ .



**Figura 2.** Valores medios de  $a^*$  y  $b^*$  según el clon, para cada sitio. Datos de sauces híbrido '131-25' y 'americano', sitios 1, 2 y 3.

Sin analizar estrictamente árbol por árbol, puede considerarse que ambos clones se ubican dentro del cuadrante amarillo-rojizo del sistema CIEL $^*a^*b^*$ , ya que si se consideran los valores medios, las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  resultaron siempre positivas (**Tabla 1, Figura 2**). Las medidas de  $b^*$  fueron siempre más altas que las de  $a^*$ , indicando la dominancia del color amarillo-cremoso por sobre el rojizo. Debe destacarse que las variaciones de  $a^*$  y  $b^*$  son demasiado pequeñas para representar una modificación física real. En general, el ojo humano es más sensible a las variaciones de  $L^*$  y blancura que a los cambios de matices indicados por  $a^*$  y  $b^*$  (Keey, 2005). Independientemente de su validez estadística, es difícil apreciar tales cambios de cromaticidad en las maderas, que resultan prácticamente imperceptibles al ojo humano. Es así que el *brightness* generalmente es considerado un criterio más importante, sobre todo con fines celulósico-papeleros.

La blancura y luminosidad ( $L^*$ ) de las maderas siguieron tendencias similares: los factores "clon" y "sitio" y su interacción resultaron fuentes de variación significativas. La madera del híbrido '131-25' fue más blanca y luminosa que la del sauce americano en los tres sitios de crecimiento. Estos resultados concuerdan con lo observado en otra investigación por Villegas *et al.* (2006) para 'americano' y '131-27'. La interacción se basó en que mientras el híbrido aumentó sus valores continuamente al pasar del sitio 1 al 3, presentando las maderas más "claras" en el sitio 3, las tablas de sauce americano resultaron más blancas en el sitio 2. Para ambos clones, los valores más bajos se dieron en el primer sitio muestreado (**Tabla 1**). La localización de "Las Animas", sometida a frecuentes inundaciones, presentó también las maderas de menor blancura y luminosidad en el estudio mencionado (Villegas *et al.*, 2006), efectuado en las mismas locaciones. Nelson *et al.* (1969), citado por Hiller *et al.* (1972) sugieren que las propiedades del suelo afectan el color y blancura de la madera de nogal negro, detectando diferencias en la luminosidad según el sitio analizado. Sotelo Montes *et al.* (2008) encontraron diferencias significativas en  $L^*$  y  $a^*$  según las zonas de plantación de *Calycophyllum spruceanum*, caracterizadas por disímiles niveles de fertilidad y humedad del suelo.

El parámetro  $a^*$ , que representa rojo cuando es positivo y verde cuando es negativo, se modificó muy poco en líneas generales. Si bien resultó diferente estadísticamente entre clones, siendo el sauce americano el que mostró el mayor promedio (4,24), la diferencia de 1,21 puntos con el sauce híbrido indica una casi indetectable tonalidad rojiza superior en el primer

clon, en coincidencia con lo hallado por Villegas *et al.* (2006). No se hallaron diferencias entre sitios para  $a^*$ .

La variable  $b^*$  indica color amarillo cuando es positiva y azul cuando es negativa. Los análisis de varianza señalan que para  $b^*$  el efecto "sitio" y la interacción clon x sitio resultaron estadísticamente significativa. La interacción se debió a que el sauce americano mostró sus mayores valores de  $b^*$  en el sitio 2 y el híbrido en el sitio 1, superando al otro clon en éste último sitio. Los promedios más bajos de  $b^*$  fueron en el sitio 1 para el americano y en el 3 para el híbrido (**Tabla 1**).

Las **Tablas 2 y 3** resumen los resultados de los análisis de varianza realizados en cada clon y sitio en forma separada. Las letras mayúsculas indican qué fuente de variación resultó estadísticamente significativa (A: árbol; H: altura de muestreo; P: posición dentro del radio; HxP: interacción altura x posición). Entre paréntesis se indica qué árbol, altura o posición se diferenció significativamente del resto.

**Tabla 2.** Resumen de los análisis de la varianza para sauce híbrido '131-25'.

Variables	Fuentes de variación		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
<b>Blancura</b>	A (6) H (1) P (todas)	A (varios) H (1) P (todas) HxP	A (32) H (todas) P (todas) HxP
<b>L*</b>	A (5-6) H (1) P (todas) HxP	A (varios) H (1) P (todas) HxP	H (todas) P (todas) HxP
<b>a*</b>	P (1-3)	A (13)	A (31-32-35) H (1) P (1)
<b>b*</b>	P (1-3)	A (varios) H (1) P (1-3)	A (32) H (3) P (3) HxP

**Tabla 3.** Resumen de los análisis de la varianza sauce americano.

Variables	Fuentes de variación		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
<b>Blancura</b>	A (1-2-9) H (todas) P (todas)	A (1-3) H (todas) P (todas) HxP	A (varios) H (todas) P (todas) HxP
<b>L*</b>	A (varios) H (todas) P (todas)	A (1-3) H (todas) P (todas) HxP	A (varios) H (todas) P (todas) HxP
<b>a*</b>	-----	-----	A (26) H(3)
<b>b*</b>	A (2)	H (1-3) P (2-3)	A (21-26-27) H (3) P (1-2) HxP

#### Variación entre árboles

Los individuos mostraron diferencias significativas de blancura y  $L^*$  en todos los sitios y para ambos clones, excepto para  $L^*$  en el sauce híbrido del sitio 3 (**Tablas 2 y 3**). Los promedios más elevados de blancura (>45%) y de  $L^*$  (>81) pertenecieron a individuos del híbrido '131-25', creciendo en los sitios 2 y 3. Los valores más bajos de  $L^*$  y blancura los tuvieron árboles de sauce americano, tal como se viera en el apartado anterior. Los promedios de  $L^*$  por árbol se extendieron entre 72,85 y 84,12 y los de *brightness* entre 33,8% y 50,22%.

La coordenada  $a^*$  mostró diferencias entre árboles sólo en el sitio 3 para ambos clones y en el sitio 2 para el sauce híbrido, debidas a 1 ó 2 individuos distintos a los demás. El rango de  $a^*$  (valores medios por árbol) se extendió entre -0,44 y 8,77, todos valores bajos, sólo siete individuos superaron los 5 puntos de  $a^*$ , y dos tuvieron valores negativos. Esto caracteriza a la madera de estos clones, casi acromática en el eje  $a^*$ , sin que se destaquen tonalidades rojizas o verdosas.

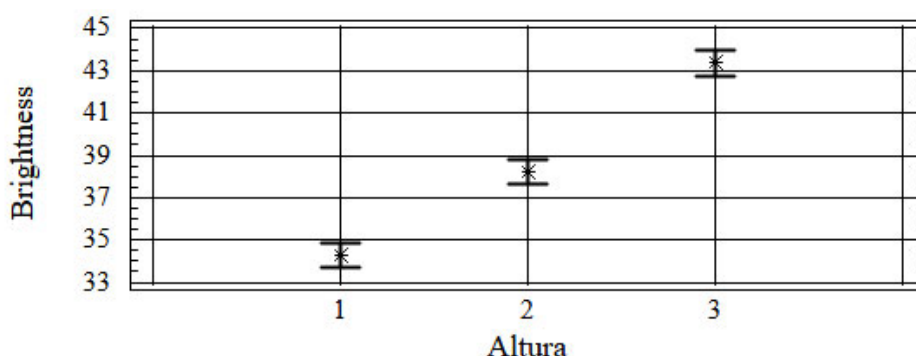
Los árboles se diferenciaron en los promedios de  $b^*$  en los sitios 2 y 3 para el sauce híbrido, y en los sitios 1 y 3 para el sauce americano (**Tablas 2 y 3**). Los valores extremos fueron: 14,02 y 19,05 puntos de  $b^*$ , sin registros de valores negativos. Se destacan dos particularidades:  $b^*$  presentó valores más altos que  $a^*$ , indicando una clara tonalidad

amarillenta de las maderas de sauce estudiadas, y todos valores muy similares, diferencias de 5 puntos no revisten importancia práctica real.

Lee *et al.* (1988) hallaron una amplia variabilidad de valores de blancura entre los individuos de cada especie estudiada, Autran y Gonçalves (2006) y Charrier *et al.* (1992) describieron estas diferencias entre árboles para  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en maderas brasileiras y roble europeo, respectivamente.

#### Variación axial y radial dentro del árbol

La blancura y luminosidad de las maderas variaron nuevamente de forma muy similar, demostrando un aumento con el nivel axial en ambos clones y para los tres sitios analizados. Este resultado coincide con lo descrito para sauce americano y el híbrido '131-27' por Villegas *et al.*, 2006. Raymond y Bradley (2002) reportaron el mismo patrón de variación en *Eucalyptus nitens*, describiendo un incremento continuo de la blancura al ascender verticalmente en el árbol y aumentos de  $L^*$  desde la base hasta el 40% de la altura, seguido de una leve disminución. Según se desprende de las **Tablas 2 y 3**, la altura de muestreo resultó una fuente de variación significativa en todos los casos. En sauce americano la blancura y  $L^*$  ascendieron desde la altura del pecho (AP) hasta la última altura muestreada, mientras que en el sauce híbrido esto ocurrió solamente en el sitio 3. En los dos sitios restantes, sólo la altura 1 (AP) se diferenció significativamente de las otras dos, estabilizándose los valores entre el 2° y 3° nivel. La **Figura 2** ejemplifica esta variación para blancura en sauce americano del sitio 3.



**Figura 2.** Valores medios de blancura (%) según altura de muestreo. Datos de sauce americano, sitio 3.

La variación radial se constató como un significativo aumento en los valores de  $L^*$  y blancura desde la posición más cercana a la médula a la más externa para los dos clones y en los tres sitios estudiados. Estas diferencias entre los valores obtenidos en las distintas posiciones radiales fluctuaron entre 1,3 y 9,7 puntos de *brightness* y 1,3 a 5,1 puntos de  $L^*$ . El aumento de  $L^*$  en sentido médula-corteza fue descrito por Charrier *et al.* (1992) para roble europeo. La blancura puede incrementarse a lo largo del radio o permanecer constante, según la especie (Lee *et al.*, 1988).

La interacción altura de muestreo-posición radial (HxP) resultó significativa (**Tablas 2 y 3**) en los sitios 2 y 3 para ambos clones y ambas variables, y en el sitio 1 sólo para  $L^*$  en el híbrido '131-25'. Esta interacción se debió al comportamiento diferencial del 3° nivel de muestreo: mientras los valores de blancura y  $L^*$  aumentaron en sentido médula-corteza en los niveles 1 y 2, en la altura 3 se estabilizaron entre la 2ª y 3ª posición radial.

El parámetro  $a^*$  sólo presentó variación axial en el sitio 3 (**Tablas 2 y 3**), con desigual comportamiento según el clon. En el híbrido 131-25,  $a^*$  descendió con la altura de muestreo, si bien sólo la altura del pecho se diferenció significativamente de las demás, mientras en el sauce americano  $a^*$  aumentó sus valores en sentido base-ápice, resultando desigual estadísticamente la altura superior. Estas diferencias variaron entre 2,93 y 3,35 puntos de  $a^*$ . En los demás sitios analizados, la altura de muestreo no resultó significativa para  $a^*$ , coincidiendo con Villegas *et al.* (2006). Raymond y Bradley (2002) reportaron un muy leve

descenso de los valores de  $a^*$  con el nivel axial para *Eucalyptus nitens*, sin indicar la significancia estadística de este resultado.

En sentido horizontal,  $a^*$  presentó valores que descendieron entre la médula y la corteza. Si bien este descenso resultó estadísticamente significativo únicamente para el sauce híbrido creciendo en los sitios 1 y 2 (**Tablas 2 y 3**), la tendencia general fue descendente, exceptuando el americano en sitio 3, para el que  $a^*$  permaneció casi invariable en sentido radial. Las diferencias estadísticamente significativas que se observaron para el sauce híbrido presentaron valores entre 2,78 y 2,93 puntos de  $a^*$  entre las posiciones radiales.

La variable  $b^*$  experimentó una disminución de sus valores en sentido vertical, entre la AP y el 65 % de la altura comercial (niveles 1 y 3), si bien estas variaciones fueron significativas sólo en los sitios 2 y 3 (**Tablas 2 y 3**). Las diferencias variaron entre 1,22 y 2,72 puntos de  $b^*$ , cuando fueron significativas. Villegas *et al.* (2006) encontraron aumentos de  $b^*$  al ascender el nivel sobre el fuste, pero con diferencias indetectables de sólo 0,4 puntos.

En sentido horizontal dentro del árbol,  $b^*$  mostró un descenso de sus valores en sentido médula-corteza en el híbrido 131-25 para los tres sitios analizados. En cambio, en el sauce americano,  $b^*$  no varió con la posición radial en el sitio 1, disminuyó sus valores entre la mitad del radio y la corteza en el sitio 2 y aumentó entre las posiciones 1 y 2 en el sitio 3. Las diferencias halladas entre posiciones, cuando resultaron significativas, se situaron entre 0,94 y 1,39 puntos de  $b^*$ .

Según las **Tablas 2 y 3**, la interacción altura x posición resultó significativa para ambos clones en el sitio 3, debido a la uniformidad de valores de  $b^*$  entre médula y corteza para el nivel 3 de altura.

## Conclusiones

- La madera del híbrido '131-25' resultó más blanca, luminosa ( $>L^*$ ) y menos rojiza ( $<a^*$ ) que la del sauce americano.
- El sitio mejor protegido de las inundaciones ("Las Carabelas", dentro de dique) fue el más adecuado para el americano en términos de mayores valores de blancura y  $L^*$ , mientras que el sitio 3 ("Las Carabelas", fuera de dique) lo fue para el híbrido. El sitio localizado en el establecimiento "Las Animas" dio origen a las maderas más oscuras y de menor  $L^*$ , probablemente debido a un excesivo tenor de humedad en el suelo.
- El sitio no tuvo influencia alguna en la variable  $a^*$ , mientras que en  $b^*$  dependió del clon: el sauce americano mostró madera más amarilla ( $>b^*$ ) en el sitio más resguardado del agua y el híbrido '131-25' en el sitio más inundable, si bien los cambios en ambos parámetros fueron muy pequeños para apreciarse visualmente.
- Se presentaron diferencias entre los árboles de cada clon estudiado, para todas las variables analizadas, si bien a veces sólo en algunos sitios. Los promedios por individuo de  $a^*$  y  $b^*$  fueron siempre positivos, ubicando a todos los árboles analizados en el cuadrante amarillo-rojizo de sistema CIEL  $a^*b^*$ . Resultaron una excepción a esta afirmación dos árboles del sauce híbrido, cuyos valores medios de  $a^*$  negativos los ubicaron en el cuadrante amarillo-verdoso.
- Dentro de cada individuo, la blancura y  $L^*$  se comportaron en forma similar, incrementando sus valores en sentido axial y radial (base-ápice y médula-corteza). Desde el punto de vista papelerero, la diferencia de hasta 9 puntos de *brightness* encontrada entre la altura 1 y la 3, indica la importancia de no descartar el extremo superior de los árboles, ya que allí se encontraría la madera más blanca para ambos clones analizados.
- Las coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$  en general disminuyeron sus valores o bien no se modificaron en sentido vertical y horizontal dentro del árbol, con algunas excepciones de incrementos aislados.

## Agradecimientos

A Papel Prensa S.A., por permitir el acceso a sus establecimientos y facilitar el muestreo de sus plantaciones.

## Bibliografía



- Ananías, R.; Sarzosa, R.; Janin, G. Bluskova, G.; Gonçalves, J. 2003. Apreciación cuantitativa del color de la madera por colorimetría. Parte 2: Mediciones de los cambios de color en pino radiata (*Pinus radiata*) secado bajo un programa convencional acelerado. Maderas. Ciencia y tecnología 5(2): 153-161.
- Autran, C. da S.; Gonçalves, J.C. 2006. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Müll Arg.) visando à utilização em interiores. Ciência Florestal 16(4): 445-451.
- Bourgois, J.; Janin, G.; Guyonnet, R. 1991. La mesure de couleur: Une méthode d'étude et d'optimisation des transformations chimiques du bois thermolysé. Holzforschung 45(5): 377-382.
- Bunse, G.C.; Sparnochia, L.J. 1989. Asociación de características morfológicas y tecnológicas en progenies de híbridos de sauces. Primeras Jornadas sobre silvicultura y mejoramiento genético del género *Salix*. CIEF. Actas: 44-54.
- Burtin, P.; Jay-Allemand, C.; Charpentier, J.-P.; Janin, G. 2000. Modifications of hybrid walnut (*Juglans nigra* 23 x *Juglans regia*) wood colour and phenolic composition under various steaming conditions. Holzforschung 54(1): 33-38.
- Charrier, B.; Haluk, J.P.; Janin, G. 1992. Prevention of brown discoloration in European oakwood occurring during kiln drying by a vacuum process: Colorimetric comparative study with a traditional process. Holz als Roh- und Werkstoff 50: 433-437.
- Dellus, V.; Scalbert, A.; Janin, G. 1997. Polyphenols and colour of Douglas fir heartwood. Holzforschung 51(4): 291-295.
- Hiller, C.H.; Freese, F.; Smith, D.M. 1972. Relationships in black walnut heartwood between color and other physical and anatomical characteristics. Wood and Fiber Science 4(1): 38-42.
- Janin, G.; Gonçalves, J.; Ananías, R.; Charrier, B.; Fernandes da Silva, G.; Dilem, A. 2001. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. Part 1. Colorimetry theory for the CIELab system. Maderas. Ciencia y tecnología 3(1-2): 3-13.
- Lee, J.; Balatinecz, J.J.; Whiting, P. 1988. The optical properties of eight eastern Canadian wood species. Part I. The inherent optical properties of the wood. Journal of Pulp and Paper Science 14(6): J145-150.
- Lindholm, C.A. 1999. Bleaching. Papermaking Science and Technology. Book 5: Mechanical Pulping. Ch. 11: 131-343. TAPPI Press.
- Luostarinen, K.; Luostarinen, J. 2001. Discolouration and deformations of birch parquet boards during conventional drying. Wood Science and Technology 35: 517-528.
- Matta, E.J. 2000. El color y su reproducción. Versión reducida: 45 pp.
- Mori, C.L.S. de O.; Mori, F.A.; Lima, J.T.; Trugilho, P.F.; Oliveira, A.C. 2004. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. Ciência Florestal 14(2): 123-132.
- Nishino, Y.; Janin, G.; Chanson, B.; Détienne, P.; Gril, J.; Thibaut, B. 1998. Colorimetry of wood specimens from French Guiana. Journal of Wood Science 44: 3-8.
- Nishino, Y.; Janin, G.; Yamada, Y.; Kitano, D. 2000. Relations between the colorimetric values and densities of sapwood. Journal of Wood Science 46: 267-272.
- Keey, R.B. 2005. Colour development on drying. Maderas. Ciencia y tecnología 7(1): 3-16.
- Popson, S.J.; Malthouse, D.D.; Robertson, P.C. 1996. Applying brightness, whiteness and color measurements to color removal. TAPPI Journal 80(9): 137-147.
- Raymond, C.A.; Bradley, A.D. 2002. Assessment of wood colour in *Eucalyptus nitens*. Appita Journal 55(2): 118-122.
- Sotelo Montes, C.; Hernández, R.E.; Beaulieu, J.; Weber, J.C. 2008. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. New Forests 35: 57-73.
- TAPPI T 527 om-94. 1994. Color of paper and paperboard (d/0° geometry).
- Unsal, O.; Korkut, S.; Atik, C. 2003. The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood. Maderas. Ciencia y tecnología 5(2): 145-152.
- Villegas, M.S. 2005. Determinación de blancura y color en madera: un aporte metodológico. III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano "Refundar el sistema forestal argentino hacia la integración regional". Corrientes, Argentina. 10 pp.

- Villegas, M.S.; Marlats, R. 2005. Altura de extracción de la muestra para evaluación de densidad básica y blancura en madera de *Salix sp.* L. Revista Bosque 26(3): 121-132.
- Villegas, M.S.; Area, M.C. 2006. Relaciones entre las propiedades de la madera de dos clones de *Salix* y sus propiedades ópticas. IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel (CIADICYP), Santiago, Valdivia, Chile. 9 pp.
- Villegas, M.S.; Area, M.C.; Marlats, R.M. 2006. Caracterización y variaciones de la madera de sauces implantados en tres sitios de producción. IV Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel (CIADICYP), Santiago, Valdivia, Chile. 9 pp.